

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

AB

(11)Publication number : 11-326791
 (43)Date of publication of application : 26.11.1999

(51)Int.CI.

G02B 26/08

(21)Application number : 10-130776

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 13.05.1998

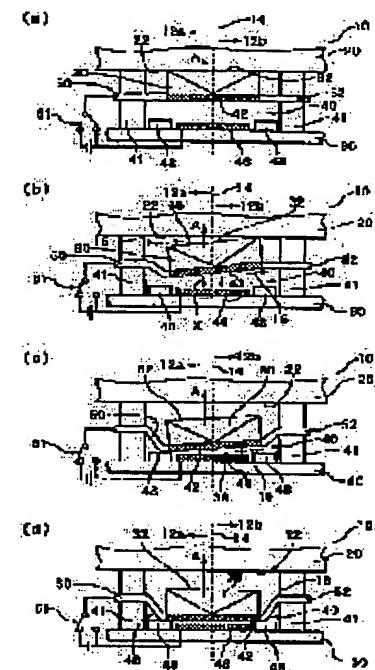
(72)Inventor : UEJIMA SHUNJI

(54) SPATIAL/OPTICAL MODULATING DEVICE AND ITS CONTROL METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a spatial/optical modulating device, capable of further accelerating processing speed, concerning the spatial/optical modulating device such as an optical switching element utilizing evanescent light.

SOLUTION: A switching part 30 provided with an extraction plane 32 can be moved in the state of inclining the direction of the extraction plane 32 in the case of moving it from the first position of ON state to the second position of OFF state or in the reverse direction. When such a switching part is moved while inclining the direction of the extraction plane 32, air 16 can be smoothly led into a space 38 generated just after the start of movement and since resistance with a fluid is reduced around the switching part 30 such that the resistance of air is reduced under moving as well, moving speed is accelerated so that response speed can be made high.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

特開平11-326791

(43)公開日 平成11年(1999)11月26日

(51)Int.Cl.
G02B 26/08

識別記号 庁内整理番号

F I
G02B 26/08技術表示箇所
A

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全18頁)

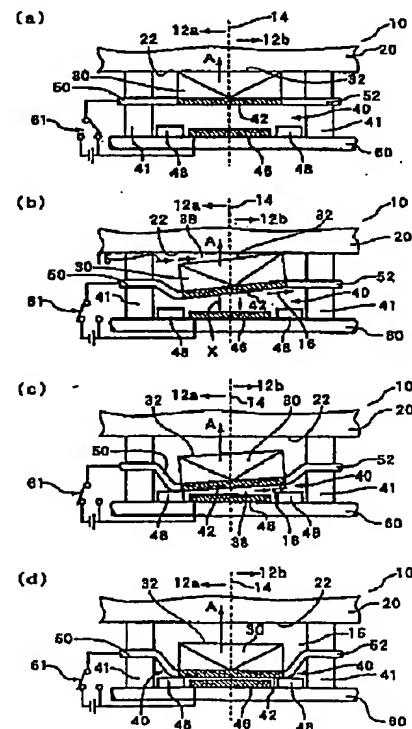
(21)出願番号 特願平10-130776
(22)出願日 平成10年(1998)5月13日(71)出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(72)宛明者 上島 俊司
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ
ーエプソン株式会社内
(74)代理人 弁理士 鈴木 喜三郎 (外2名)

(54)【発明の名称】空間光変調装置および空間光変調装置の制御方法

(57)【要約】

【課題】エバネセント光を利用した光スイッチング素子などの空間光変調装置において、処理速度のさらに速い空間光変調装置を提供する。

【解決手段】抽出面32を備えたスイッチング部30をオン状態の第1の位置からオフ状態の第2の位置、あるいはこの逆の方向に移動する際に、抽出面32の向きを傾けた状態で移動可能にする。抽出面32の向きを傾けた状態で移動すると、移動開始直後に生ずる空間38に空気16をスムーズに導入でき、また、移動中の空気の抵抗も少なくなるなど、スイッチング部30の周囲の流体との抵抗が小さくなるので移動速度が速くなり、応答速度を向上することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 平面要素を備えたスイッチング部と、このスイッチング部を前記平面要素が第 1 の方向を向く第 1 の位置、およびこの第 1 の位置から離れた第 2 の位置に移動可能な駆動手段とを有し、この駆動手段は、前記スイッチング部の平面要素の向きを、移動初期、移動中または移動末期に、前記第 1 の方向に対し傾けることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 2】 請求項 1 において、前記スイッチング部の平面要素に前記第 1 の位置で接し、該平面要素の向きを前記第 1 の方向に規定する平面部材を有することを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 3】 請求項 1 において、前記駆動手段は、前記スイッチング部に対し、その重心に対し非対称な分布を備えた駆動力を印加可能であることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 4】 請求項 3 において、前記スイッチング部の重心が該スイッチング部の立体中心からはずれていることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 5】 請求項 3 において、前記駆動手段は、前記スイッチング部を弾性的に支持する支持部材を備えており、この支持部材は、弹性定数の分布が前記スイッチング部の重心に対し非対称となる部分を備していることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 6】 請求項 3 において、前記駆動手段は、前記スイッチング部に設けられた第 1 の電極と、この第 1 の電極に対峙する位置に設けられた第 2 の電極とを備えており、前記第 1 の電極の形状、第 2 の電極の形状、または第 1 および第 2 の電極の間隔が前記スイッチング部の重心に対し非対称となる部分を備していることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 7】 請求項 3 において、前記駆動手段は、前記スイッチング部に設けられた第 1 の電極と、この第 1 の電極に対峙する位置に設けられた第 2 の電極とを備え、前記第 1 または第 2 の電極が前記スイッチング部の重心に対し非対称な形状の第 1 および第 2 の区画を形成するように分割されており、さらに、

前記第 1 および第 2 の区画に異なったタイミングまたは電圧の電力を供給可能な電力供給部を備えていることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 8】 請求項 1 において、前記スイッチング部の平面要素は、前記第 2 の位置で前記第 1 の方向に対し傾いていることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 9】 請求項 8 において、前記駆動手段は、前記スイッチング部を弾性的に支持する支持部材を備えており、この支持部材は、弹性定数の分布が前記スイッチング部の重心に対し非対称となる部分を備していることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 10】 請求項 8 において、前記駆動手段は、前記スイッチング部に設けられた第 1 の電極と、この第

1 の電極に対峙する位置に設けられた第 2 の電極とを備えており、前記第 1 および第 2 の電極の間隔が前記スイッチング部の重心に対し非対称となる部分を具备していることを特徴とする空間光変調装置。

【請求項 11】 請求項 8 において、前記スイッチング部が前記第 2 の位置で接触する支持台を有し、この支持台と前記スイッチング部との間隔が前記スイッチング部の重心に対し非対称となる部分を具备していることを特徴とする空間光変調装置。

10 【請求項 12】 平面要素を備えたスイッチング部を前記平面要素が第 1 の方向を向く第 1 の位置と、この第 1 の位置から離れた第 2 の位置とに移動可能な空間変調装置の制御方法であって、

前記スイッチング部に設けられた第 1 の電極、または、この第 1 の電極に対峙する位置に設けられた第 2 の電極が前記スイッチング部の重心に対し非対称な形状に分割された第 1 および第 2 の区画に対し、異なったタイミングまたは電圧で電力を供給する工程を有することを特徴とする空間変調装置の制御方法。

20 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信、光演算、光記憶装置、光プリンター、画像表示装置等に使用される光スイッチング素子（ライトバルブ）に適した空間光変調装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光をオンオフ制御できる空間光変調装置としては液晶を用いたものが知られている。図 25 に、その概略構成を示す。この空間光変調装置は、光スイッチング素子 900 として実現されており、偏光板 901 および 908、ガラス板 902 および 903、透明電極 904 および 905、液晶 906 および 907 より構成され、透明電極間に電圧を印加することにより液晶分子の方向を変えて偏光面を回転させ光スイッチングを行うものである。例えば、このような光スイッチング素子（液晶セル）を二次元に並べて液晶パネルとして画像表示装置を構成することが可能である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 この液晶を用いた光スイッチング素子（空間光変調装置）は、高速応答特性が悪く、たかだか数ミリ秒程度の応答速度でしか動作しない。このため高速応答を要求される、光通信、光演算、ホログラムメモリー等の光記憶装置、光プリンター等に対し液晶を用いた空間光変調装置は難しかった。また、液晶を用いた空間光変調装置では、偏光板により光の利用効率が低下してしまうという問題もあった。

【0004】 これらの用途に対応できる、高速動作の可能な空間光変調装置が求められており、このため、光を制御できるスイッチング要素を機械的に動かして高速で変調できる空間光変調装置が開発されている。その 1 つ

は、マイクロミラーデバイスであり、このデバイスはミラーをヨークで旋回可能に支持し、ミラーの角度を変えて電気的または光学的な入力に対応して入射光を変調して出射するようになっている。

【0005】また、反射機能あるいは透過機能を備えた平面要素を薄膜などで保持し、その平面要素を平行に動かして入射光を変調することが可能であり、そのような原理に基づき空間光変調装置を構成することも可能である。本願出願人が出願中の、光を全反射して伝達可能な導光部の全反射面に対しスイッチング部の抽出面を接触させてエバネセント光を抽出し、スイッチング部の1波長程度あるいはそれ以下の微小な動きによって、高速で光を変調制御可能な光スイッチング素子もその1つである。このエバネセント光を利用した光スイッチング素子は、スイッチング部を支持する弾性の薄膜と、全反射面に対峙した平面的な抽出面の位置を静電力で制御するための電極とを備えた駆動部によって駆動されるようになっている。駆動部により、導光部の全反射面にスイッチング部の抽出面が略接触した状態になると光を抽出して出射することができ、また、全反射面から抽出面を離すと光は抽出されないので光は出射されない。このように、エバネセント波を利用した光スイッチング素子は、全反射面に対し抽出面の位置を微少距離移動することにより入射光を変調することができるので、高速動作が可能な空間光変調装置の1つとして実現化に向けて観念開発が進められている。

【0006】空間光変調装置において、動作速度をさらに高速にすることは常に重要な課題であり、開発中のエバネセント光を利用した光スイッチング素子において同様である。そこで、本発明においては、エバネセント光を利用した光スイッチング素子のような、平面的な要素を備えたスイッチング部を移動制御して光を変調する機構を備えた空間光変調装置において、その動作速度をさらに高速化することができる空間光変調装置およびその制御方法を提供することを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】本願発明者らが上述したような平面的な要素を備えた光スイッチング素子の動作を研究したところ、微少な距離を高速で移動しながら行われるスイッチング動作においては、スイッチング部の抽出面と全反射面との間に封入される空気あるいは不活性ガスなどの流体の抵抗、あるいは、スイッチング部が移動する際の抵抗が無視できない抗力となっており、このような流体の抵抗を抑制することにより動作速度を大幅に向上できることを見出した。このような流体抵抗を低減するには、真空中で光スイッチング素子を動作させれば良いが、スイッチング部あるいは駆動部の周辺環境を真空中にするためには耐圧容器などの付加部材が必要となり大型化およびコスト高の原因となる。また、製造過程においても、真空中にするための工程が必要である。さ

らに、真空雰囲気でのみ使用可能な光スイッチング素子では、使用中に真空雰囲気が破られると一気に性能が低下したり、あるいは動作不能になる恐れがあるので信頼性についても問題がある。

【0008】そこで、本願の発明者らは、流体の抵抗をスイッチング部の動きによって低減できるようにしている。すなわち、本発明の空間光変調装置は、平面要素を備えたスイッチング部と、このスイッチング部を平面要素が第1の方向を向く第1の位置、およびこの第1の位置から離れた第2の位置に移動可能な駆動手段とを有し、この駆動手段は、スイッチング部の平面要素の向きを、移動初期、移動中または移動末期に、第1の方向に對し傾けることを特徴としている。まず、スイッチング部を移動初期に傾けることにより、スイッチング部が移動を開始するときにスイッチング部が離脱するために生じる空間にスムーズに流体を流入させることができるので流体による抵抗を削減することができる。また、移動中にスイッチング部を傾けることにより、平面要素が進行方向に對し傾くのでスイッチング部が移動する際に受ける流体の抵抗を削減することができる。そして、移動末期にスイッチング部を傾けることにより、スイッチング部が停止する際に閉じる空間から流体をスムーズに排出することができるので、流体による抵抗を削減することができる。

【0009】本発明の空間光変調装置においては、このようにスイッチング部の移動初期、移動中および移動末期の少なくともいずれかに平面要素の向きを傾けることにより流体の抵抗を削減することができ、移動初期、移動中および移動末期の全てあるいはいずれか2つの状態で傾けることにより、さらに流体による抵抗を削減することができる。したがって、スイッチング部の移動中の抵抗が減るので、移動速度は速くなり、変調処理速度を向上することができる。また、圧力を下げたり、あるいは真空中にしなくても流体による抵抗を削減できるので、空間光変調装置を圧力容器化する必要もなく、通常の環境で使用することができる。したがって、動作速度が速く、信頼性の高い空間光変調装置を低コストで提供することができる。

【0010】特に、スイッチング部の平面要素に第1の位置で接し、この平面要素の向きを第1の方向に規定する平面部材を備えた空間光変調装置においては、平面部材によって流体の動きが制限されるので、スイッチング部が受ける抵抗が大きくなる。さらに、移動初期あるいは移動末期にスイッチング部を傾けることにより、第1の位置においてスイッチング部の平面要素と平面部材との間に生ずる空間に流体をスムーズに流入あるいは排出することができる。したがって、このような空間光変調装置において本発明を適用することにより、動作速度を大幅に向上することができる。上述したエバネセント波を利用した空間光変調装置（光スイッチング素子は、こ

のタイプの空間光変調装置であり、本発明はエバネセント波を利用した空間光変調装置に好適なものである。

【0011】スイッチング部に対し、その重心に対し非対称な分布を備えた駆動力を印加することにより、スイッチング部を非対称な状態、すなわち、傾いた状態にすることができるので、移動初期、移動中あるいは移動末期にスイッチング部を傾けることができる。非対称な分布を備えた駆動力を印加する方法としては、スイッチング部の重心を立体中心からずらすことにより、スイッチング部に対し配位的には対称な分布の駆動力を、重心に対しても非対称な状態にすることができ、これによりスイッチング部を傾けることができる。

【0012】また、駆動手段に、スイッチング部を弾性的に支持する支持部材を設け、この支持部材の弾性定数の分布を、少なくとも1部においてスイッチング部の重心に対し非対称となるようにすることによっても、重心に対し非対称な駆動力をスイッチング部に対し印加することができる。さらに、駆動手段が、スイッチング部に設けられた第1の電極と、この第1の電極に対峙する位置に設けられた第2の電極とを備え、スイッチング部に静電力を駆動力として印加できる場合は、第1または第2の電極の形状またはそれらの間隔の少なくとも1部をスイッチング部の重心に対し非対称な状態にすることにより、非対称な駆動力をスイッチング部に対し印加することができる。

【0013】また、上記の第1または第2の電極をスイッチング部の重心に対しそれぞれ非対称な形状の第1および第2の区画に分け、これらの区画に異なったタイミングで、または、異なった電圧の電力を供給することによっても、非対称な駆動力をスイッチング部に対し印加することができる。

【0014】さらに、スイッチング部は第2の位置において、第1の位置の向きに対し平行である必要はなく、むしろ第2の位置において傾いた状態にすることにより、移動初期、移動中および移動末期の傾いた状態との間でスムーズに移行することができる。したがって、さらに流体の抵抗を減らすことができ、動作速度を向上することができる。

【0015】第2の位置でスイッチング部を傾いた状態にするには、駆動手段の支持部材の弾性定数をスイッチング部の重心に対し非対称にしたり、第1および第2の電極の間隔を変えたり、スイッチング部が第2の位置で接触する支持台とスイッチング部との間隔をスイッチング部の重心に対し非対称にする方法がある。

【0016】

【発明の実施の形態】【第1の実施の形態】図1に、本発明に係る空間光変調装置10の概略構成を示してある。本発明の空間光変調装置10は、光を全反射して伝達可能な導光部20の全反射面22に対し、透光性の抽出面32を備えたスイッチング部30を接触させてエバ

ネセント光を抽出し導光部20の入射光70を導光部20から出力できる、エバネセント波を利用した光スイッチング素子である。この光スイッチング素子10は、スイッチング部30の1波長程度あるいはそれ以下の微小さな動きによって、入射光70を高速で変調（オンオフ制御）することができ、スイッチング部30を駆動するために静電力とばね力を用いた駆動部40が設けられている。

【0017】光スイッチング素子の構成を更に詳しく説明すると、光スイッチング素子は、ガラス製で入射光70の透過率の高い光ガイド（導光部、カバーガラス）20を備えており、全反射面22で入射光70が全反射するように全反射面22に対し適当な角度で入射光70が入射される。そして、この全反射面22に対し、図1(a)に示すように、スイッチング部30の抽出面32が全反射面22と平行な向き（第1の方向）で接近あるいは密着してエバネセント光を抽出できる位置（第1の位置）になると、導光部20から入射光70がスイッチング部30に抽出される。本例のスイッチング部30は抽出された入射光70を導光部20にむけて反射可能なマイクロプリズム33を備えており、抽出された光は導光部20を通過してほぼ垂直な出射光72となり出力される。一方、図1(b)に示すように、スイッチング部30が第1の位置から離れて、抽出面32が全反射面22から離れた位置（第2の位置）になると、入射光70は全反射面22で全反射され導光部20からエバネセント光として抽出されない。したがって、出射光72は得られない。

【0018】このように、本例の光スイッチング素子10においては、スイッチング部30を第1および第2の位置に移動することにより、入射光70を出射光72として変調することができる空間光変調装置である。したがって、光スイッチング素子10を用いて出射光72をオンオフ制御できるので、光スイッチング素子をアレイ状に配位して画像表示装置を構成するなど、先に説明した液晶あるいはマイクロミラーデバイスなどの空間光変調装置と同様に用いることができる。さらに、エバネセント光は、スイッチング部30を波長程度あるいはそれ以下の距離を移動することにより制御できるので、スイッチング部30を非常に高速で動作させることができ、動作速度の速い光スイッチング素子として実現することができる。

【0019】スイッチング部30を駆動するために、光スイッチング素子10は、スイッチング部30の下方に光スイッチング部30を動かす駆動部40の層と、および駆動部40を制御する駆動用ICが構成されたシリコン基板（ICチップ）60の層を備えている。駆動部40は、スイッチング部30のシリコン基板60の側（下側）37に設けられたアドレス電極（第1の電極）42と、シリコン基板60の上面にアドレス電極42に対峙

して設けられたベース電極（第2の電極）4 6とを備えている。そして、これらの電極4 2および4 6に電源部6 1から直流電力が供給され、静電力を用いてスイッチング部3 0を図1 (b)に示す第2の位置に駆動できるようになっている。さらに、駆動部4 0は、スイッチング部3 0の周囲に配設されたポスト4 1からスイッチング部3 0に延びた薄膜状で弾性のあるヨーク（支持部材）5 0および5 2を備えており、これらヨーク5 0および5 2の弾性力でスイッチング部3 0を図1 (a)に示す第1の位置に保持できるようになっている。このように、本例の光スイッチング素子においては、駆動部4 0の電極4 2および4 6の間で生ずる静電力と、ヨーク5 0および5 2の弾性力とのバランスによってスイッチング部3 0の位置を制御し、入射光7.0を変調できるようになっている。

【0020】さらに、本例の光スイッチング素子1 0においては、ポスト4 1が基板6 0と導光部2 0との間隔を一定に保つスペーサとしての機能も備えており、基板6 0と導光部2 0との間にスイッチング部3 0が移動するために必要な空間が確保されている。また、ポスト4 1に対しスイッチング部3 0を支持するヨーク5 0および5 2、さらにアドレス電極4 2は導電性薄膜材であり、例えばA 1膜、P t膜およびA g膜などが考えられるが、本例では、ポロンドープされた導電性および弾性のあるシリコン薄膜で一体に構成されており、ヨーク5 0および5 2を介してアドレス電極4 2に電源部6 1から電力を供給できるようになっている。さらに、基板6 0の表面には、ベース電極4 6と並んでスイッチング部3 0の第2の位置のポジションを決めるストッパ4 8が設けられており、第2の位置においてアドレス電極4 2がベース電極4 6と直に接触して密着しないようにストッパ4 8の高さが調節されている。

【0021】図2に、本例の光スイッチング素子のスイッチング部3 0を下から見た様子を示してある。略直方体状の対称な形状のスイッチング部3 0は、その立体中心点（体心）1 4 aに対して対称な4方向に放射状に延びているヨーク5 0および5 2によりポスト4 1から支持されている。本例の光スイッチング素子においては、体心1 4 aを通り図面の上下に延びる方向に立体中心線1 4を仮定すると、この立体中心線1 4の図面上の左側の区画1 2 aと右側の区画1 2 bに配設された各々2本のヨーク5 0とヨーク5 2は材質および厚みは同じで、幅が変えられており、ヨーク5 0の幅Wがヨーク5 2の幅Wよりも狭くなっている。このため、駆動部4 0の一部として弾性的にスイッチング部3 0を支持するヨーク5 0とヨーク5 2は、その弾性力、すなわち、バネ係数が異なり、左側の区画1 2 aの弾性力が右側の区画1 2 bの弾性力よりも弱くなる。このように、本例の光スイッチング素子においては、スイッチング部3 0が立体中心線1 4の左右で異なった弾性定数のヨーク（支持部

材）5 0および5 2で支持されている。一方、本例のスイッチング部3 0は左右の形状が対称なので体心1 4 aと重心1 4 bの位置は一致しており、このため、スイッチング部3 0は重心1 4 bに対し左右で非対称な弾性定数を備えた支持部材によって支持されている。したがって、この光スイッチング素子1 0の駆動部4 0の電極4 2および4 6に電力を供給して静電力でスイッチング部3 0を駆動すると、左右でアンバランスな力がスイッチング部3 0に作用する。この結果、スイッチング部3 0は全反射面2 2に対し水平に動かず、傾いた状態で移動する。

【0022】図3に、本例のスイッチング部3 0が傾いた状態で移動する様子を段階的に示してある。図3 (a)は図1 (a)に示したスイッチング部3 0が第1の位置にある状態を示しており、この第1の位置では、スイッチング部3 0の抽出面3 2が導光部2 0の全反射面2 2に接し、第1の方向A、すなわち、本例においては図面の上方を向き、光スイッチング素子1 0は出射光を出力するオン状態になっている。この第1の位置においては、駆動部4 0の電極4 2および4 6に対して電源部6 1から電力は供給されておらず、スイッチング部3 0はヨーク5 0および5 2の発生する弾性力によって導光部2 0の全反射面2 2に押し付けられ、抽出面3 2と全反射面2 2がほぼ密着した状態となっている。

【0023】次に、図3 (b)に示すように、電源部6 1をオンし、駆動部4 0のアドレス電極4 2とベース電極4 6に電力を供給するとこれらの電極4 2および4 6の間に静電力が働きスイッチング部3 0がベース電極4 6に引寄せられる。本例においては、アドレス電極4 2およびベース電極4 6の面積、形状および間隔は立体中心線1 4に対して対称に分布しているので、左右対称な静電力がスイッチング部3 0に作用する。しかしながら、静電力に対抗するように働くヨーク5 0および5 2の弾性力は、上述したようにヨーク5 0および5 2の幅が異なるので左右で弾性係数が異なり、発生する弾性力も異なる。この結果、スイッチング部3 0に作用する駆動力の分布は立体中心線1 4の左右で異なり、図3 (b)に示したスイッチング部3 0を第1の位置から第2の位置に移動する過程の移動初期においては左側の区画1 2 aの駆動力が右側の区画1 2 bの駆動力よりも大きくなる。したがって、スイッチング部3 0の左側の区画1 2 aの方が先に移動を開始し、これに続いて右側の区画1 2 bが移動を開始し、移動初期において抽出面3 2が第1の方向Aに対し傾いた状態となる。

【0024】抽出面3 2が傾いた状態で移動を開始すると、図3 (b)に示すように、抽出面3 2はその左側から徐々に全反射面2 2から剥離し、抽出面3 2と全反射面2 2との間に空間3 8が形成される。そして、この空間3 8にスイッチング部3 0の周囲の流体、本例においては空気1 6が流入し、スイッチング部3 0が第2の位

盤に向かって第1の方向Aと反対側の矢印Xの方向に移動を開始する。そして、スイッチング部30が移動すると、空間38は徐々に右側に広がりながら大きくなり、その空間38に徐々に空気16が流入する。このように、抽出面32が傾いた状態で移動が開始されると、初期に全反射面22との間に形成される空間の体積は非常に小さく、そこに流入する空気の量も少なくて済むので空気抵抗は非常に小さい。これに対し、抽出面32を第1の方向Aに向けて全反射面22と平行な状態に保ったまま移動を開始すると、移動初期に抽出面32の全体が剥離するために形成される隙間が非常に大きくなり、流入する空気の量も多くなる。したがって、空気の抵抗は非常に大きい。このため、本例のように、移動初期に抽出面32の向きを第1の方向Aに対し傾けることにより、空気抵抗を減少することが可能であり、移動初期における駆動力が小さくて済み、移動が開始されるまでの時間を短縮することができる。

【0025】特に、本例のエバネセント光を利用した光スイッチング素子10においては、抽出面32と全反射面22との間に若干の隙間が生じ、さらに抽出面32の角度が変わるとエバネセント光の抽出量が極端に低下すると共に出射光の方向も変わる。したがって、出射光が所定の方向に出力されるオンの状態から出射光が出力されない、あるいは出射光の方向が変わるオフの状態にしばやく変化する。このため、移動初期に抽出面32の角度を変えることにより、オン状態からオフ状態への移行速度を非常に速くすることができる。

【0026】スイッチング部30は図3(b)に示すように、移動中も進行方向Xに対し傾いた状態となる。したがって、移動方向Xに存在する流体(空気)に対し、スイッチング部30の底面、すなわち、アドレス電極42は傾いた状態で進み、空気16はアドレス電極42の進行方向に対し傾いた表面に沿ってスムーズに流れ空気抵抗は小さい。これに対し、抽出面32を第1の方向Aに保ったまま、アドレス電極42が進行方向Xに垂直な状態で移動すると、アドレス電極42とベース電極46との間で空気16を圧縮するようになるので、空気抵抗は大きい。このように、移動中においても、スイッチング部30の抽出面32を傾けることにより、空気抵抗を減らすことができ、移動速度を速くすることができる。

【0027】図3(d)は、先に図1(b)で説明したスイッチング部30が基板60のベース電極46にもつとも接近して停止した第2の状態を示しており、本例の光スイッチング素子10においては、この第2の位置でスイッチング部30の抽出面32は第1の位置と同様の方向Aを向くようになっている。しかしながら、図3

(c)に示すように、スイッチング部30が停止直前の移動末期においても、抽出面32は第1の方向Aに対し傾いている。このため、アドレス電極42とベース電極46との間の空間は、立体中心線14に対し左側の区画

12aの側から徐々に小さくなる。したがって、アドレス電極42とベース電極46との間の空気は空間38が斜めに徐々に狭くなるので、右側の区画12bの方向にスムーズに流れ、アドレス電極42とベース電極46との間から放出される。この結果、移動末期においてもアドレス電極42とベース電極46との間にある流体(空気)16による抵抗は非常に小さくなり、スイッチング部30は第2の位置にすばやく到達する。また、移動末期においてスイッチング部30が空気抵抗を受け難いので安定した位置に停止する。

【0028】本例の光スイッチング素子10は、電源部61をオフすることにより、電極42および46の間の静電力がなくなるので、駆動部40のヨーク50および52の弾性力でスイッチング部30が図3(d)に示した第2の位置から、図3(a)に示した第1の位置に移動する。この際は、右側の区画12bのヨーク52の弾性力が左側の区画12aのヨーク50の弾性力よりも大きくなるので、スイッチング部30に対しては右側に大きな駆動力が作用する。したがって、抽出面32が第1の方向Aに対し図面の左側に傾いた状態で移動を開始し、図3(a)ないし図3(d)に示した状態を逆の順番で辿り第2の位置から第1の位置に移動する。このため、スイッチング部30が第2の位置から第1の位置に移動する際もスイッチング部30の周囲に存在する気体の抵抗を抑制することができ、移動速度を向上することができる。このように、本発明の光スイッチング素子10は、オンオフ動作(変調動作)の際に、いずれの方向に移動するときもスイッチング部30が第1の方向Aに対し傾いて剥がれ始め、傾いた状態で移動し、さらに傾いた状態から第1の方向Aに向きながら停止する。このため、いずれの状態でもスイッチング部30が受ける空気16の抵抗を小さくすることができ、高速で移動し、応答速度の速い光スイッチング素子、すなわち、空間光変調装置を提供することができる。

【0029】図4に、本例の光スイッチング素子10の移動時間を、スイッチング部30が傾かずに移動する光スイッチング素子の移動時間と比較して示してある。図4(a)は、スイッチング部30が第1の位置から第2の位置、すなわち、オン状態からオフ状態に切換わる際のベース電極46とアドレス電極42の距離(間隔)dと、切換え所要時間(経過時間)Tとの関係を示してある。スイッチング部30の抽出面32が常に第1の方向Aを向いて移動し、アドレス電極42がベース電極46に対し常に平行に移動する場合は、スイッチング部30に対し以下の式(1)に示す静電力Fsと、ヨーク50および52の弾性力Feと、さらに、空気の抵抗力Faが主に作用し、一点鎖線81aに示すようなカーブを描いて移動する。

$$[0030] F_s = \epsilon S V / d \dots (1)$$

ただし、 ϵ は流体(空気)の誘電率、Sは電極の面積、

d は電極間の距離、 V は電圧を示す。

【0031】これに対し、本例の光スイッチング素子 10においては、空気の抵抗力 F_a が上述したように削減されるので、静電力 F_s が大きくスイッチング部 30 に作用する。その結果、実線 80a に示すように、経過時間 T が $\Delta T_1 (t_2 - t_1)$ ほど短縮され、スイッチング部 30 の移動速度、すなわち、応答速度が向上する。

【0032】図 4 (b) は、第 2 の位置から第 1 の位置、すなわち、オフ状態からオン状態に切換わる際のスイッチング部 30 の移動経過を示してある。第 2 の位置から第 1 の位置に移動する間は、上述したように静電力 F_s は作用せず、スイッチング部 30 に対してはヨーク 50 および 52 の弾性力 F_e と、空気抵抗 F_a が作用する。そして、スイッチング部 30 の向きを第 1 の方向 A に保ったまま移動する場合は、空気抵抗 F_a が大きく作用し、一点鎖線 81b のようにスイッチング部 30 が移動する。これに対し、本例の光スイッチング素子 10 においては、空気抵抗 F_a が削減されているので、実線 80b に示すように $\Delta T_2 (t_5 - t_4)$ ほど速く移動できる。したがって、本例の光スイッチング素子 10 は、オンからオフに移動する速度も、オフからオンに移動する速度も速くなり、全体の応答速度を向上することができる。

【0033】このように、スイッチング部 30 を第 1 の位置から第 2 の位置、あるいはその逆方向に移動するときに、抽出面 32 の向きを傾けることにより空気抵抗を小さくし、応答速度を速くすることができる。スイッチング部 30 を傾けて移動するには、上記のように、スイッチング部 30 の重心 14b に対し非対称な分布の駆動力を作用させれば良く、このため、上記では、重心 14b を通る立体中心線 14 に対する左右に位置するヨーク 50 および 52 の幅を変えてそれぞれのヨークのばね係数を変え、スイッチング部 30 にヨーク 50 および 52 から印加される左右の弾性力の分布を非対称にしている。ヨークのばね係数を変える要素はヨークの幅 W だけに限定をされないことはもちろんである。例えば、図 5 に、ヨーク 50 および 52 の厚み U を変えて、ばね係数を調整することができる。図 5 に示した例では、立体中心線 14 の左側の区画 12a に位置するヨーク 50 の厚み U を右側の区画 12b に位置するヨーク 52 の厚み U より薄くしてあり、上記の例と同様にヨーク 50 のばね係数がヨーク 52 のばね係数よりも小さくなるようにしている。したがって、図 5 に示した光スイッチング素子 10 においても、スイッチング部 30 は上記と同様に動き、応答速度を速くすることができる。

【0034】さらに、上記では、ヨーク 50 および 52 の幅 W あるいは厚み U によってヨークの断面積を変えることによってそれぞれのヨーク 50 および 52 のばね係数を変えているが、図 6 に示すようにヨーク 50 および 52 の材質を変えてばね係数を変えることも可能である。

る。図 6 に示した光スイッチング素子 10 においては、左側の区画 12a に位置するヨーク 50 と、右側の区画 12b に位置するヨーク 52 にばね係数の異なった材質、例えば、ポロンドープされたシリコン膜であれば、ポロンの濃度を変えたり、あるいは、他の不純物をドープすることによってばね係数を変えた部材を用いている。もちろん、シリコン膜の代わりに、有機性樹脂の薄膜などをばね係数の異なるヨークの材料として採用することも可能である。

【0035】また、図 7 に示すように、一方のヨークに材質の同じ薄膜、あるいは材質の異なる薄膜を貼り付けることによっても左右のヨーク 50 および 52 のばね係数を変えることができる。図 7 に示した光スイッチング素子 10 においては、右側の区画 12b に位置するヨーク 52 を材質の異なる 2 つの幅 52a および 52b によって形成しており、他方の区画 12a に位置するヨーク 50 は 1 つの材質によって形成している。このような方法によっても左右に配置されたヨーク 50 および 52 のばね係数を調整することが可能であり、上述したように、スイッチング部 30 を傾いた状態で移動させることができる。

【0036】さらに、上記では、ヨーク 50 および 52 のばね係数を変えることにより、スイッチング部 30 に印加される弾性力の分布を非対称にしているが、ヨーク 50 および 52 の配置を左右で変え、スイッチング部 30 の重心 14b の周囲のばね常数の分布を非対称にすることも可能である。

【0037】図 8 は、先に説明した図 2 に対応する図面であり、本例の光スイッチング素子 10 においては、立体中心線 14 の左側の区画 12a に 1 本のヨーク 50 を配置し、右側の区画 12b に 2 本のヨーク 52 を配置してある。このようなヨーク 50 および 52 の配置を採用すると、右側の区画 12b の方がヨーク 52 の本数が多く、弾性力が大きくなる。したがって、左右の弾性力の分布がアンバランスになるので、上述した例と同様にスイッチング部 30 は第 1 の位置の向き（第 1 の方向）に対し傾いた状態で移動し、空気抵抗を小さくすることができる。

【0038】図 9 には、立体中心線 14 の左側の区画 12a にはヨークを配置せず、右側の区画 12b にのみヨーク 52 を配置してスイッチング部 30 を支持した例を示してある。この光スイッチング素子 10 においては、スイッチング部 30 が右側の区画 12b でのみ弾性的に支持されるので、立体中心線 14 に対し非対称な駆動力がスイッチング部 30 に作用する。したがって、上記と同様に移動の初期、中期および末期においてスイッチング部 30 は傾いた状態となり、移動中の空気抵抗を削減できので、応答速度の速い光スイッチング素子 10 を提供することができる。

【0039】なお、上記においては、図 1 (b) あるいは

は図 3 (d) に示すように、スイッチング部 30 がベース電極 46 にもっとも近づいた第 2 の位置においてアドレス電極 42 とベース電極 46 が平行になり、抽出面 32 が第 1 の位置の向き A と略同じ方向を向いて停止する例を示してある。しかしながら、第 2 の位置において抽出面 32 が第 1 の方向 A に対し傾いた状態とすることも有効である。

【0040】図 10 は、スイッチング部 30 が移動末期に傾いた状態となり、そのままの状態でヨーク 52 の弾性力 F_e と、電極 42 および 46 によって生ずる静電力 F_s とがつりあい停止する例を示してある。すなわち、本例の光スイッチング素子 10 のヨーク 50 および 52 は、左側の区画 12a のヨーク 50 のばね係数が、右側の区画 12b のヨーク 52 のばね係数よりも小さく、静電力 F_s が働いたときに、左側の区画 12a においてはスイッチング部 30 のアドレス電極 42 がベース電極 46 の近傍に達し、ストッパ 48 で停止しているのに対し、右側の区画 12b ではアドレス電極 42 がベース電極 46 の近傍に達しないところで力がつりあっている。したがって、スイッチング部 30 は傾いた状態で停止している。

【0041】このような傾いた状態で停止していると、移動末期に傾いた状態からアドレス電極 42 がベース電極 46 と平行な位置になるまで移動する時間を省くことができ、また、逆に移動初期にアドレス電極 42 がベース電極 46 から傾いた状態で剥離する時間も省くことができる。さらに、第 2 の位置では、抽出面 32 の向きが全反射面 22 と平行である必要はなく、光スイッチング素子（空間光変調装置）としての性能上はまったく問題がない。そして、スイッチング部 30 は移動を開始するとすでに傾いた状態になっているので、空気抵抗が少なくて高速に移動できる。このように、第 2 の位置においてスイッチング部 30 を傾いた状態にすると、移動中の空気抵抗を削減できると共に、スイッチング部 30 の姿勢を変える時間も省くことが可能であり、さらに応答時間を短縮し、非常に高速で動作可能な光スイッチング素子を提供することができる。

【0042】図 11 に示した光スイッチング素子 10 も、第 2 の位置においてスイッチング部 30 が傾いた状態で停止するようになっている。このため、本例の光スイッチング素子においては、第 2 の位置でスイッチング部 30 を支持する左右のストッパ 48a および 48b の高さを変え、スイッチング部 30 の立体中心線 14 の左右でスイッチング部 30 の移動可能な間隔を非対称にしている。このように高さの異なるストッパ 48a および 48b を設けることにより、スイッチング部 30 のアドレス電極 42 の右側の部分は、先にストッパ 48b に当たって停止し、傾いた状態となる。したがって、ヨーク 50 および 52 あるいは電極 42 および 46 が左右対称な分布となっていても第 2 の位置ではスイッチング部 3

0 は傾いた状態となり、この状態から移動開始するとき、あるいはこの状態に停止する移動末期における空気の抵抗を少ないすることができる。したがって、スイッチング部 30 の移動時間を短縮でき、応答速度の速い光スイッチング素子を提供することができる。なお、上記に示した例でも同様であるが、これらのストッパ 48a あるいは 48b は、アドレス電極 42 がベース電極 46 に直に接触するのを防止する度当たりとなり、それぞれの電極が接触して短絡したり、あるいは、電荷による吸着が発生してはがれなくなるのを防止する機能も備えている。

【0043】図 12 には、ベース電極 46 の一方の側にのみストッパ 48c を設けた光スイッチング素子 10 を示してある。上記のように、ストッパ 48 の高さをスイッチング部 30 の重心（立体中心線）の左右で非対称にする代わりに、ストッパ 48 の配置を立体中心線 14 の左右で非対称にすることによっても、第 2 の位置でスイッチング部 30 を傾いた状態で停止できる。ストッパ 48 の分布を非対称にする場合は、アドレス電極 42 とベース電極 46 が接触する可能性があるので、本例においては、アドレス電極 42 の外側を絶縁部材の層 49 でコーティングしてアドレス電極 42 とベース電極 46 が直に接触することがないようにしている。

【0044】【第 2 の実施の形態】以上の例では、スイッチング部 30 に対し、その重心に対し非対称な駆動力を作用させ、スイッチング部 30 を傾けた状態で移動するため、ヨーク 50 あるいは 52 のばね係数、配置などを変えて重心に対する弾性力の分布を制御しているが、逆に、スイッチング部 30 の重心 14b の位置を非対称な位置に移動することによって重心 14b の周りの駆動力の分布を非対称にすることも可能である。

【0045】図 13 に、スイッチング部 30 の立体中心線 14 の左側の区画 12a に重り（バランサ） 31 を追設して重心 14b を左側の区画 12a に移設した光スイッチング素子 10 を示してある。なお、本実施の形態および以下に示す実施の形態において、上述した実施の形態と共通する部分については同じ符号を付して説明を省略する。本例の光スイッチング素子 10 においては、重心 14b が体心 14a を通る立体中心線 14 から左側にずれているので、左右の区画 12a および 12b の質量が異なる。したがって、スイッチング部 30 が鉛直方向に移動するように配置されているのであれば、この左右の区画 12a および 12b の質量の相違は、重力加速度の相違、すなわち重量相違として作用する。このため、左右の区画 12a および 12b に同じ弾性力 F_e および静電力 F_s が作用しても左の区画 12a が重いので上記の実施の形態と同様にスイッチング部 30 は傾いて移動する。一方、スイッチング部 30 が水平方向に移動するように配置されているのであれば、弾性力 F_e および静電力 F_s の作用する質量が相違するので、移動するとき

の加速度が異なる。したがって、この場合でもスイッチング部 30 は傾いた状態で移動する。

【0046】このように、本例の光スイッチング素子 10においても、スイッチング部 30 は移動初期、移動中および移動末期において傾いた状態で移動するのでスイッチング部 30 の周囲の流体（多くは空気であり、もちろん空素などの不活性気体であってももちろん良い）から受ける抵抗力を削減することができる。したがって、上記の実施の形態と同様に応答速度のさらに速い光スイッチング素子を提供することができる。

【0047】〔第3の実施の形態〕さらに、静電力 F_s の分布を調整してスイッチング部 30 に対する駆動力の分布を重心 14b に対し非対称にすることも可能であり、これによりスイッチング部 30 を傾けて移動させることができる。静電力 F_s は、先に式（1）で示したように、電極の面積 S および電圧 V に比例し、電極間の距離 d に反比例するので、これらの要素のいずれかについて、その重心 14b の周りの分布を非対称にすることにより非対称な静電力を得ることができる。

【0048】図 14 は、先に示した図 2 に対応する図面であり、スイッチング部 30 の下面 37 に設けられたアドレス電極 42 の形状を立体中心線 14 の左右でアンバランスにして重心 14b に対し非対称な静電力 F_s が得られるようにしている。すなわち、本例のアドレス電極 42 は、左側の区画 12a の面積が右側の区画 12b の面積に対して広いほぼ台形状となっている。したがって、左側の区画 12a で発生する静電力が右側の区画 12b で発生する静電力より大きい。このため、スイッチング部 30 を静電力を用いて第1の位置から第2の位置に移動するときに静電力の大きな左側の区画 12a が先に移動を開始し、その結果、スイッチング部 30 は上記の実施の形態と同様に傾いた状態で移動する。一方、第2の位置から第1の位置に移動するときは、本例の光スイッチング素子 10 では静電力が作用しないのでヨーク 50 および 52 による弾性力が左右の区画で一定であるとすると略平行な状態でスイッチング部 30 は移動する。

【0049】なお、アドレス電極 42 の形状をスイッチング部 30 の底面 37 の形状から変えると、アドレス電極 42 に対し電力を供給する役目を兼ね備えたヨーク 50 および 52 との電気的な接続が取り難くなる。このため、本例においては、スイッチング部 30 の底面 37 の縁にそって接続用の電極 42l を設けてアドレス電極 42 とヨーク 52 とを電気的に接続している。

【0050】図 15 に、立体中心線 14 の左右の区画 12a および 12b でアドレス電極 42 の面積を変えた異なる例を示してある。本例の光スイッチング素子 10 においては、アドレス電極 42 がほぼ T 字型となっており、左側の区画 12a に底面 37 よりやや大き目のほぼ長方形状のアドレス電極 42a が設けられ、これに接続

するように、右側の区画 12b にはそのほぼ中央に左側の電極 42a の半分程度の面積で方形のアドレス電極 42b が設けられている。本例に限らず、アドレス電極 42 がスイッチング部 30 の立体中心線 14 対し非対称で面積が異なるような形状であれば、左右の区画 12a および 12b で生ずる静電力の大きさが異なるので、上記のようにスイッチング部 30 を傾いた状態で駆動することができる。したがって、空気抵抗が少なく、応答速度の速い光スイッチング素子を提供することができる。もちろん、アドレス電極 42 の代わりに、ベース電極 46 の形状を変えることも可能であり、あるいは両方の電極 42 および 46 の形状を非対称にして静電力の分布を非対称にすることも可能である。

【0051】図 16 に、アドレス電極 42 あるいはベース電極 46 の形状を非対称にする代わりに、アドレス電極 42 およびベース電極 46 との間隔 d を立体中心線 14 に対し非対称にした例を示してある。本例の光スイッチング素子 10 においては、左側の区画 12a のアドレス電極 42a の厚みに対し、右側の区画 12b のアドレス電極 42b の厚みが大きくなっている。したがって、スイッチング部 30 がオン状態の第1の位置に居るときは、右側の区画 12b のアドレス電極 42b とベース電極 46 の間隔 d が、左側の区画 12a の間隔 d よりも狭くなっている。このため、アドレス電極 42 およびベース電極 46 に電力が供給されると、右側の区画 12b の静電力の方が左側の区画 12a の静電力よりも大きくなる。したがって、本例の光スイッチング素子においては、スイッチング部 30 が第1の位置から第2の位置に移動するときは、上記の実施の形態と異なり、右側の区画 12b の側から剥離して傾いた状態で移動を開始する。

【0052】一方、第2の位置に到達した移動末期においては、厚みの大きな右側のアドレス電極 42b の方が先にベース電極 46 に当たり、次に左側のアドレス電極 42a がベース電極 46 に当たって停止する。このため、移動開始のときは異なった向きに傾いてスイッチング部 30 は停止する。さらに、この第2の位置から第1の位置に移動するときは、静電力が切られるので、ヨーク 50 および 52 の弾性力によってスイッチング部 30 が移動する。この際、第2の位置においてスイッチング部 30 は傾いた状態になっているので、移動初期および移動中も傾いたままとなり、さらに、第1の位置に到達すると、スイッチング部 30 の抽出面 32 が導光部 20 の全反射面 22 に当たる。このため、抽出面 32 の向きは傾いた状態から全反射面 22 に密着する向きに方向を変え、オン状態となる。

【0053】このように、本例の光スイッチング素子 10 は、移動初期、移動中および移動末期において傾いた状態となり、さらに、第2の位置においても傾いた状態で停止する。したがって、移動速度が速く、オンオフの

移動期間も短くなり、応答速度の速い光スイッチング素子を提供することができる。

【0054】なお、本例においては、アドレス電極42の厚みを左右で変えて、アドレス電極42がベース電極46に当たって停止するようしている。このため、直にアドレス電極42とベース電極46が接触すると短絡などの問題があるので、アドレス電極42を絶縁部材49でコーティングして直に接触するのを防いでいる。

【0055】図17に、アドレス電極42の代わりに、ベース電極46の厚みを変えた例を示してある。本例の光スイッチング素子10においては、立体中心線14の左側の区画12aのベース電極46aの厚みに対し、右側の区画12bのベース電極46bの厚みを大きくしてある。したがって、図16に基づき説明した例と同様に、スイッチング部30が第1の位置にあるときは、右側の区画12bのベース電極46とアドレス電極42の間隔dが左側の区画12aよりも短くなり、より大きな静電力が発生する。このため、上記の例と同様にスイッチング部30は傾いて移動を開始する。

【0056】一方、第2の位置でスイッチング部30が停止するときは図17に示してあるように、ベース電極46の高さが左右で異なるので、このベース電極46にスイッチング部30が当たって傾いた状態で停止する。このため、第2の位置から第1の位置に移動するときは、本例でもスイッチング部30は傾いた状態で移動し、いずれの方向でも空気による抵抗を削減し応答速度を改善することができる。

【0057】〔第4の実施の形態〕上記の例では、電極42および46の面積あるいは間隔を変えて静電力の分布を非対称にしているが、さらに、静電力を印加するタイミングを変えることにより、スイッチング部30の重心に対し非対称な分布を持った駆動力を作用させることができる。

【0058】図18に、立体中心線14の左右の区画12aおよび12bで静電力を印加するタイミングを変えられるようにアドレス電極42を左右42aおよび42bに分割した光スイッチング素子10を示してある。本例においては、アドレス電極42が立体中心線14に沿って2つの電極42aおよび42bに分割されており、こここの電極42aおよび42bは立体中心線14に対し非対称な形状になっている。したがって、こここの電極42aおよび42bに別々のタイミングで電力を供給することにより、立体中心線14に対し非対称な分布を持つ駆動力をスイッチング部30に作用させることができる。

【0059】図19および図20に、本例の光スイッチング素子10の動作を示してある。また、図21に、それぞれの電極42aおよび42bに電力を供給する電源部61aおよび61bの動作(制御)をタイミングチャートを用いて示してある。まず、図19(a)に示すよ

うに、左右のアドレス電極42aおよび42bに電源部61aおよび61bから電力が供給されていないときは、駆動部40のヨーク50および52によってスイッチング部30は抽出面32が全反射面22に密着したオン状態(第1の位置)となっている。

【0060】次に、時刻t11に電源部61aのスイッチが入り、左側の区画12aのアドレス電極42aに電力が供給されると、左側の区画12aでは静電力が作用する。時刻t12に静電力が適当な力に達すると、図110(b)に示すように、スイッチング部30は傾いた状態で移動を開始し、抽出面32が全反射面22に対し斜めになって隙間(空間)38が形成されオフ状態となる。この空間38は徐々に大きくなるので空気16がスムーズに流入し、空気抵抗が少ない状態でスイッチング部30の移動が速やかに進む。

【0061】時刻t11から時間T10だけ遅れた時刻t13に右側の区画12bのアドレス電極42bに電力を供給する電源部61bがオンすると、右側の区画12bでも静電力がスイッチング部30に作用する。この結果、図20(a)に示すように、スイッチング部30は適当な角度に傾いた状態で右側の部分にも剥離力が作用して、角度を保った状態で第2の位置に向かって移動を行う。この移動中もスイッチング部30は、移動方向に對して傾いた状態となっているので、空気抵抗は少なく、高速で移動することができる。あるいは、所定を応答速度を得るために必要な静電力が小さくて良いので、光スイッチング素子10を駆動するためには必要な電力消費を少なくすることができるという効果もある。

【0062】図20(b)に示すように、スイッチング部30がベース電極46に接近して停止する第2の位置に達すると、図20(a)から図20(b)に移行する移動末期においてスイッチング部30が傾いた状態から略平行な状態になり、ベース電極46とアドレス電極42との間の空気もスムーズに排出される。このように、本例の光スイッチング素子10においても、移動初期、移動中および移動末期においてスイッチング部30が傾いた状態となるので、応答速度をさらに向上でき、あるいは、光スイッチング素子の駆動電力を低減することも可能となる。

【0063】スイッチング部30が第2の位置から第1の位置に移動する際も、時刻t14に右側の区画12bのアドレス電極42bに対する電力供給を遮断すると、右側の区画12bの静電力がなくなるので、ヨーク52の弾性力によってスイッチング部30が傾いた状態で移動を開始する。そして、それから時間T11遅れた時刻t15に左側の区画12aのアドレス電極42aに対する電力供給も遮断すると、スイッチング部30は適当な角度に傾いた状態で第2の位置から第1の位置に移動する。そして、時刻t16にスイッチング部30が第1の位置に到達し、抽出面32が全反射面22に平行で密着

した状態になると、本例の光スイッチング素子 10 は、入射光を出射光として変調して出力するオン状態になる。

【0064】このように、本例、および上記の実施の形態で説明した光スイッチング素子 10 は、オンからオフ、そしてオフからオンと空気中あるいは不活性ガス中などの流体中で高速で動かすことが可能であり、真空中にしなくとも応答速度が速い、あるいは低消費電力の空間光変調装置を実現できる。

【0065】図 22 および図 23 に、ベース電極 46 を左右に分割した例を示してある。また、これらの左右に分割したベース電極 46 a および 46 b に対し、タイミングおよび電圧 V を変えて電力を供給する様子を図 24 のタイミングチャートを用いて示してある。図 22

(a) に示すように、本例の光スイッチング素子 10 においては、ベース電極 46 が立体中心線 14 の左右の区画 12 a および 12 b の電極 46 a および 46 b に分離され、互いに絶縁されており、電源部 61 から個別に制御することにより双方の区画 12 a および 12 b で生じる静電力を制御することができるようになっている。このため、電源部 61 は、左側のベース電極 46 a に接続されている電源ユニット 62 と、右側のベース電極 46 b に接続されている電源ユニット 63 を備えており、さらに、これらの電源ユニット 62 および 63 からそれぞれの電極 46 a および 46 b に供給される電圧を制御することができるコントロールユニット 66 を備えている。本例の光スイッチング素子 10 も上記の例と同様に、電極 42 および 46 に電力が供給されていない状態では、ヨーク 50 および 52 の弾性力によってスイッチング部 30 は第 1 の位置にあり、オン状態となっている。

【0066】時刻 t21 に、電源ユニット 62 から左側のベース電極 46 a に電圧 V1 の電力が供給され、電源ユニット 63 から右側のベース電極 46 b に電圧 V2 の電力が供給される。この際、左側の電極 46 a に供給される電圧 V1 の値を、右側の電極 46 b に供給される電圧 V2 よりも高く設定しておくことにより、スイッチング部 30 の左側の区画 12 a で右側の区画 12 b よりも大きな静電力が作用する。その結果、スイッチング部 30 の重心 14 b に対し左右で非対称な駆動力が働くので、図 22 (b) に示すように、スイッチング部 30 が回転しながら移動を開始し、抽出面 32 が傾きながら左側の区画 12 a の側から剥がれ始める。したがって、本例の光スイッチング素子 10 においても上記の各実施の形態と同様に空気抵抗が少なく、スムーズにスイッチング部 30 を移動させることができる。

【0067】さらに、時刻 t22 に、コントロールユニット 66 により、電源ユニット 62 および 63 から左右のベース電極 46 a および 46 b に略同じ電圧 V3 の電力を供給するようにすると、図 23 (a) に示すよう

に、適当な角度までスイッチング部 30 が回転した状態でスイッチング部 30 が第 2 の位置まで移動する。そして、図 23 (b) に示すようにアドレス電極 42 がストップ 48 e に当たり、第 2 の位置で停止する。この移動末期においても、上記の各実施の形態と同様にスイッチング部 30 は傾いた状態から平行な状態に回転し、その間の空間の空気を速やかに排出して停止する。また、本例の光スイッチング素子 10 においては、ベース電極 46 a および 46 b は、ストップとなる部分 48 e が突出した非平坦な形状に加工されており、アドレス電極 42 がベース電極 46 a あるいは 46 b に密着しないようになっている。

【0068】さらに、スイッチング部 30 を第 2 の位置から第 1 の位置に移動するときは、図 24 に示したように時刻 t23 に右側のベース電極 46 b に対する電力供給を遮断し、左側のベース電極 46 a に対する電力を徐々に低下させることができる。これにより、右側の区画 12 b においては、ヨーク 52 の弾性力によってスイッチング部 30 がすぐに移動を開始し、これに対し、左側の区画 12 a においては、ベース電極 46 a とアドレス電極 42 との間に静電力が作用し、徐々にその力が低下していくようになる。したがって、スイッチング部 30 は第 2 の位置から移動を開始するときも適当な角度まで回転し、傾いた状態になった後に第 1 の位置に向かって移動する。したがって、第 2 の位置から第 1 の位置に移動する際も、空気抵抗が低減され、高速でスイッチング部 30 を動かすことができる。

【0069】以上に説明した光スイッチング素子 10 は、入射光をオンオフ制御可能な空間光変調装置としての機能を備えており、これらの光スイッチング素子 10 を単体で利用することはもちろん可能であり、さらに、アレイ状に配設して画像表示装置はもちろん、光通信、光演算、光記録などの多種多様な分野に応用することができる。そして、スイッチング部を移動する際にオン状態の向きから傾けることにより、スイッチング部の周囲の流体から受ける抵抗を大幅に低減することができる。このため、通常の空気中あるいは不活性ガス中などの雰囲気で本発明の空間光変調装置は使用することが可能であり、高速動作が可能で、応答速度が速く、さらに信頼性の高い空間光変調装置を得ることができる。また、逆に、流体の抵抗を小さくできるので、空間光変調装置を駆動するための電力消費を低減することができる。

【0070】なお、以上の例では、エバネセント波を利用した光スイッチング素子を例に本発明を説明しているが、スイッチング部の抽出面に変わる平面要素を動かすことにより干渉特性を変化させて入射光を変調したり、偏光方向あるいは反射光の位相を変化させるなどのさまざまなタイプの空間光変調装置に本発明を適用できることはもちろんである。

【0071】また、以上の例では、薄膜材からなるヨー

クを弾性材として用いた例を説明しているが、もちろん、コイルばねなどの他の形状の弾性材を採用することも可能である。また、弾性材を用いずに、電極の組み合わせを増やしたり、あるいは静電力の向きを適当に変えることによってもスイッチング部を第1の位置と第2の位置の間で移動する駆動力を得ることができ、その駆動力を非対称な状態にすることによりスイッチング部を傾けて移動させることができる。そして、上記にて開示したようなさまざまな効果を得ることができる。さらに、静電力に代わり、ピエゾ素子などの圧電素子を駆動源として用いることももちろん可能であり、この圧電素子の配置、動きなどを非対称にすることにより上記と同等の効果を得ることができる。

【0072】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の空間光変調装置は、入射光を変調可能な平面要素を備えたスイッチング部を第1の位置から第2の位置に移動する際に、平面要素の向きを第1の位置における第1の方向から傾いた状態にすることによりしている。そして、移動初期、移動中あるいは移動末期の少なくともいずれかに傾いた状態にすることにより、スイッチング部の周囲に存在する空気あるいは不活性ガスなどの流体から受ける抵抗を低減することができる。このため、スイッチング部を移動する際の抗力が減り、静電力などを用いて、さらに高速でスイッチング部を動かすことができ、応答時間が短く、応答速度の早い空間光変調装置を提供することができる。また、抗力が低減されるので、逆に、消費電力を低減することも可能となる。そして、空気中などの一般的な環境条件で応答速度の速い空間変調装置を提供するので、画像表示装置はもちろん、さまざまな分野で本発明に係る空間変調装置を適用することができる。また、高速で動作させるために真空チャンバーなどの特殊な設備は不要なので、低コストで高性能の空間変調装置を提供することができる。

【0073】さらに、スイッチング部を移動中のみならず、オフ状態の第2の位置においても傾いた状態で停止させておくことが可能である。スイッチング部を傾いた状態で停止すれば、傾いた状態から平行な状態に戻す時間および駆動力をさらに短縮することが可能であり、いっそう動作速度が速く、応答性能の良い空間光変調装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るエバネセント光を用いた光スイッチング素子の概要を示す図であり、図1(a)はスイッチング部が第1の位置にあるオン状態を示し、図1(b)はスイッチング部が第2の位置にあるオフ状態を示す図である。

【図2】図1に示す光スイッチング素子のスイッチング部の構成をアドレス電極の側から示す図である。

【図3】図1に示す光スイッチング素子において、オン

状態(第1の位置)からオフ状態(第2の位置)へ移動する様子を順番に模式的に示す断面図である。

【図4】図1に示す光スイッチング素子において、アドレス電極およびベース電極間の間隔を経過時間と共に示す図であり、図4(a)はオンからオフに移行する経過を示す、図4(b)はオフからオンに移行する経過を示す図である。

【図5】第1の実施の形態に係る異なった光スイッチング素子の構成例を示す図である。

【図6】第1の実施の形態に係る、さらに異なった光スイッチング素子の構成例を示す図である。

【図7】第1の実施の形態に係る、さらに異なった光スイッチング素子の構成例を示す図である。

【図8】第1の実施の形態に係る、さらに異なった光スイッチング素子の構成例を示す図である。

【図9】第1の実施の形態に係る、さらに異なった光スイッチング素子の構成例を示す図である。

【図10】図1に示した光スイッチング素子において、第1の方向に対し傾いた状態で第2の位置に停止する例を示す図である。

【図11】図10に示した光スイッチング素子のさらに異なる例を示す図である。

【図12】図10に示した光スイッチング素子のさらに異なる例を示す図である。

【図13】本発明の第2の実施の形態に係る光スイッチング素子の概略構成を示す図であり、重心の位置をずらした例を示す図である。

【図14】本発明の第3の実施の形態に係る光スイッチング素子の概略構成を示す図であり、アドレス電極の形状を非対称にした例を示す図である。

【図15】図14に示した第3の実施の形態に係る光スイッチング素子の異なる例を示す図である。

【図16】図14に示した第3の実施の形態に係る光スイッチング素子のさらに異なる例を示す図である。

【図17】図14に示した第3の実施の形態に係る光スイッチング素子のさらに異なる例を示す図である。

【図18】本発明の第4の実施の形態に係る電極を分割した光スイッチング素子の例を示す図である。

【図19】図18に示す光スイッチング素子の動作を示す図であり、第1の位置および第1の位置から移動開始後の状態を示す図である。

【図20】図18に示す光スイッチング素子の動作を示す図であり、移動中および第2の位置で停止した状態を示す図である。

【図21】図18に示した光スイッチング素子の制御動作を示すタイムチャートである。

【図22】図18に示した第4の実施の形態に係る光スイッチング素子の異なる例を示す図であり、第1の位置および第1の位置から移動開始後の状態を示す図である。

【図 23】図 22 に続き、移動中および第 2 の位置で停止した状態を示す図である。

【図 24】図 22 および 23 に示す光スイッチング粒子の制御動作を示すタイミングチャートである。

【図 25】従来の液晶を用いた光スイッチング粒子を示す図である。

【符号の説明】

10 . . 空間光変調装置

12 . . 区画

14 . . 立体中心線

14b . . 重心

16 . . 空気

20 . . 導光部 (カバーガラス)

22 . . 全反射面

30 . . スイッチング部

31 . . バランサー

32 . . 抽出面

33 . . マイクロプリズム

37 . . 底面

38 . . 間隔

40 . . 駆動部

41 . . ポスト

42 . . アドレス電極 (第 1 の電極)

46 . . ベース電極 (第 2 の電極)

48 . . ストップ

49 . . 絶縁部材

50, 52 . . ヨーク

60 . . I C チップ

10, 61 . . 直流電源部

62, 63 . . 電源ユニット

66 . . コントロールユニット

70 . . 入射光

72 . . 出射光

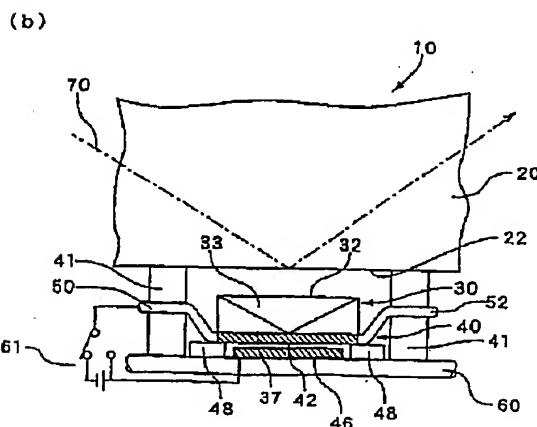
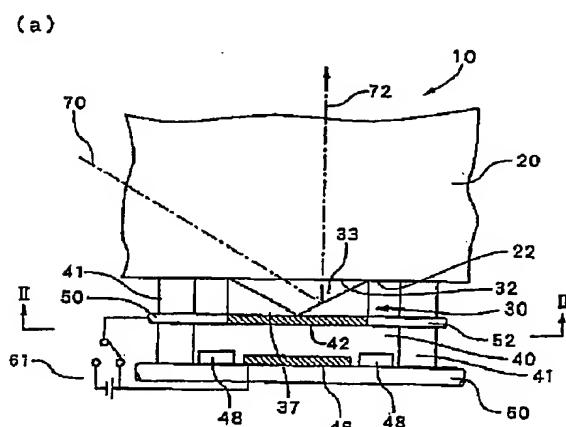
908 . . 側光板

903 . . ガラス板

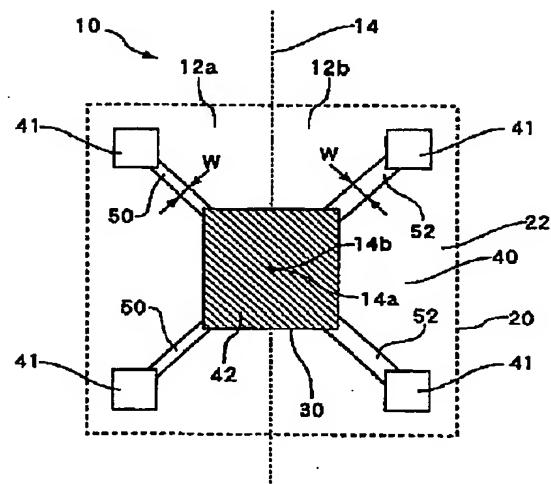
904, 905 . . 透明電極

906, 907 . . 液晶

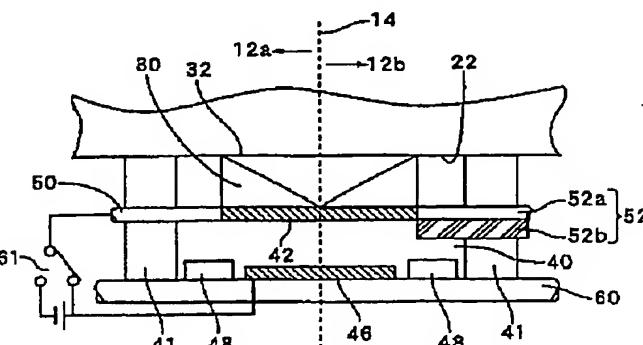
【図 1】



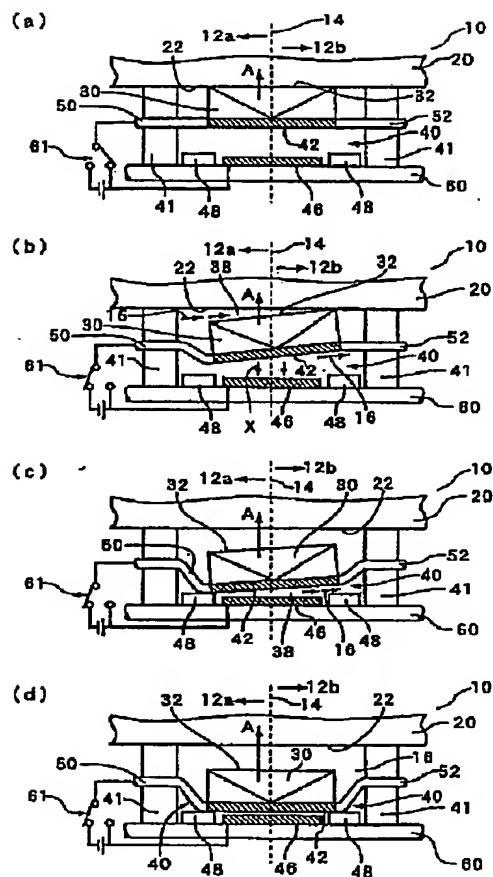
【図 2】



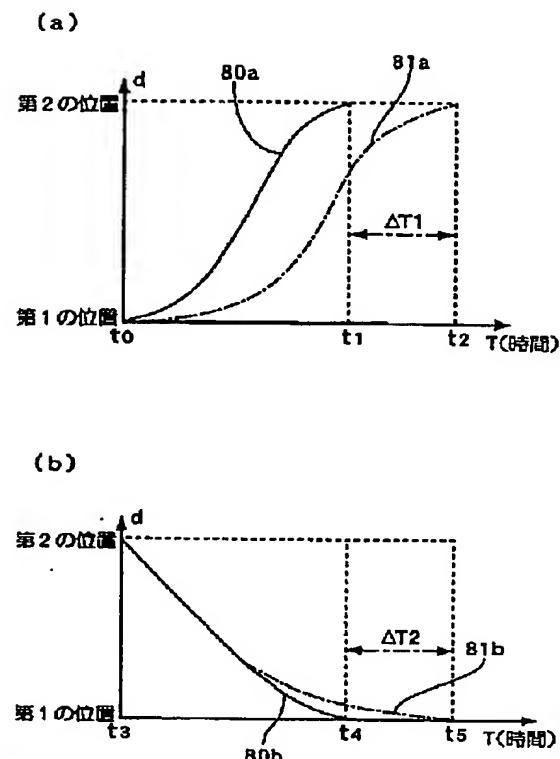
【図 7】



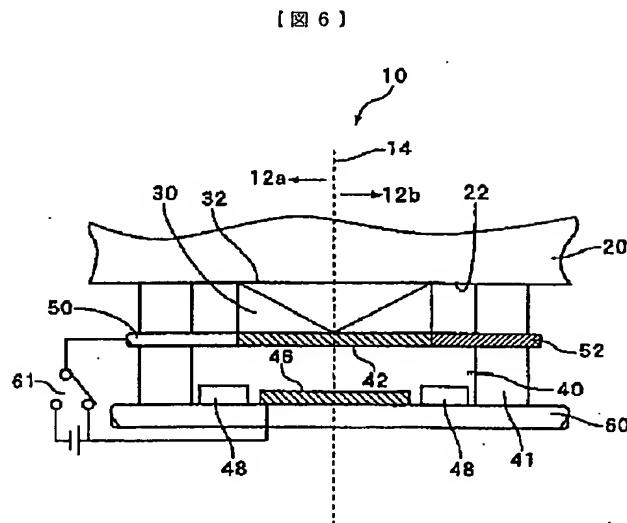
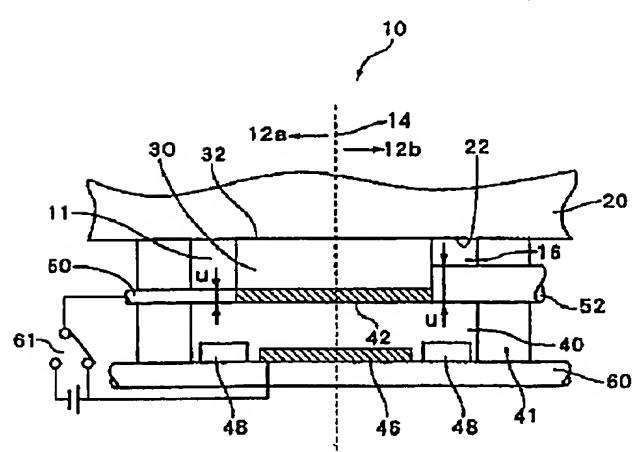
【図 3】



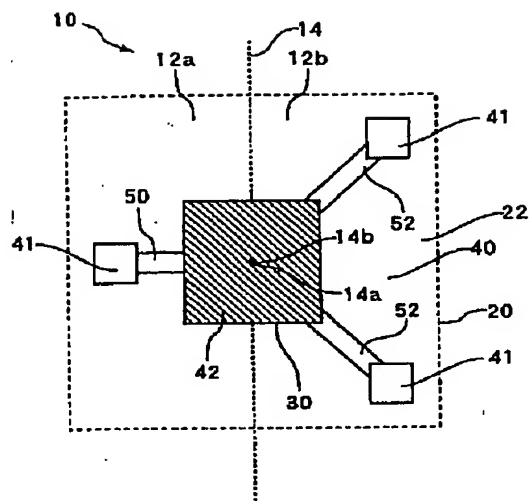
【図 4】



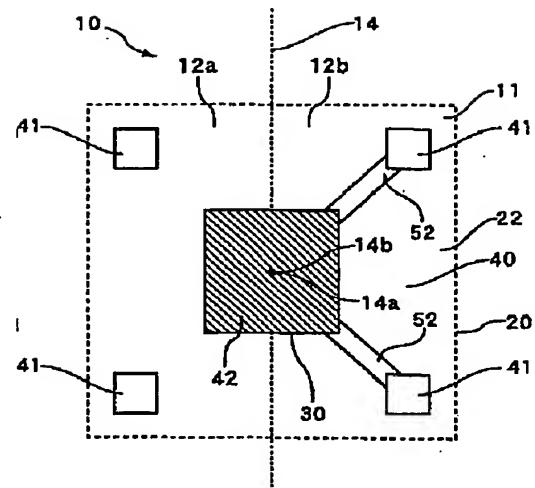
【図 5】



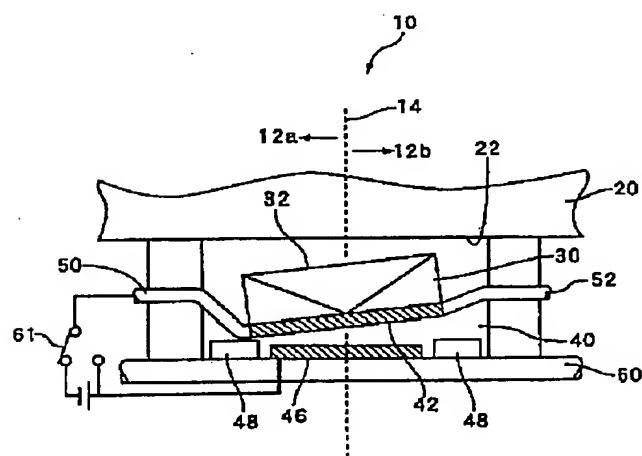
【図 8】



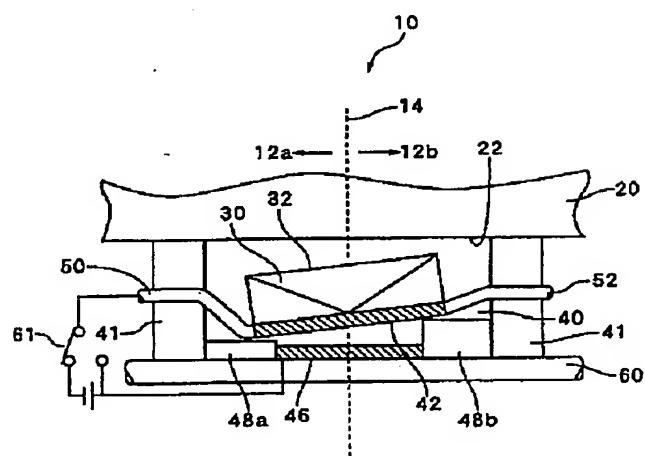
【図 9】



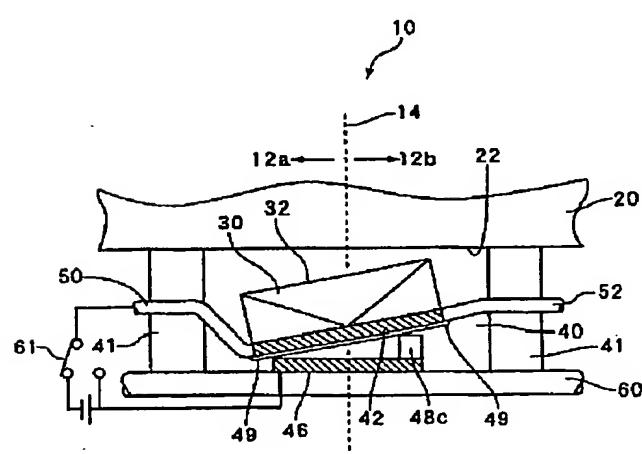
【図 10】



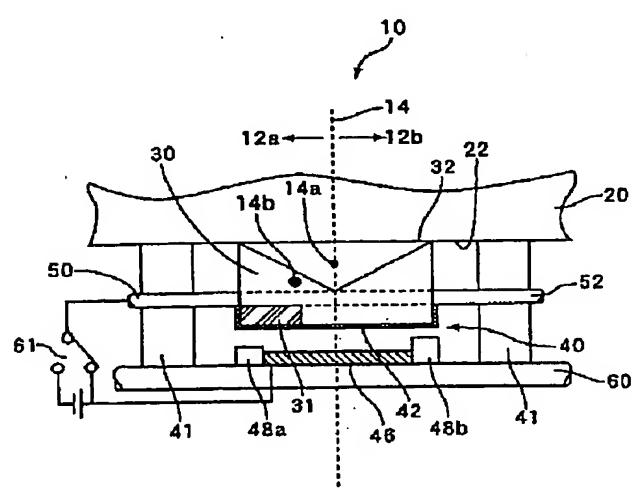
【図 11】



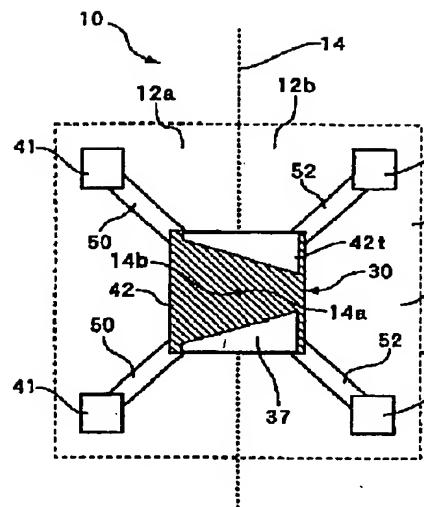
【図 12】



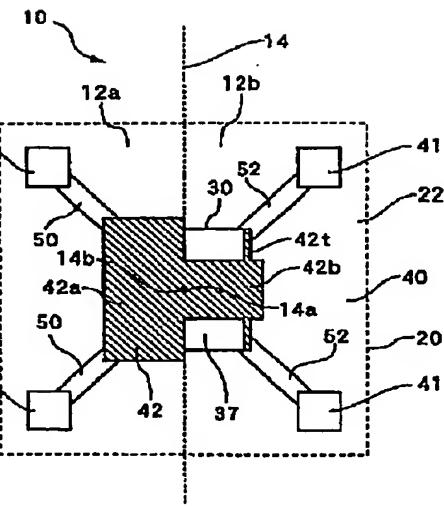
【図 13】



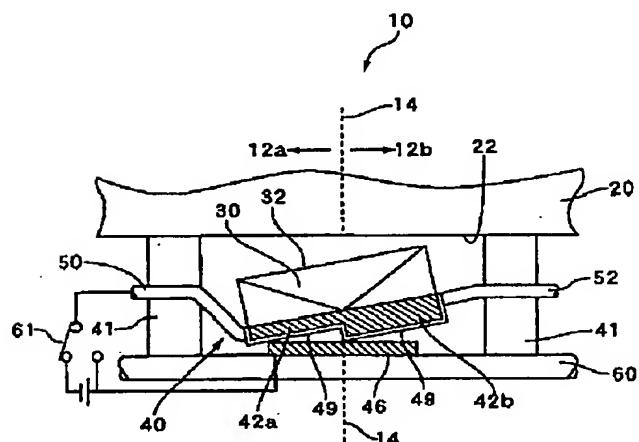
【図 1 4】



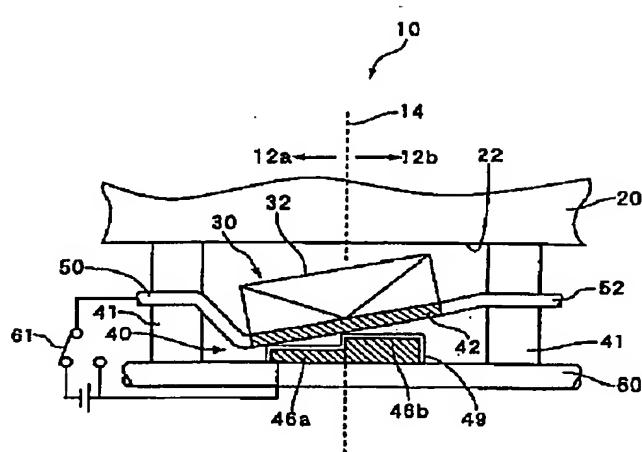
【図 1 5】



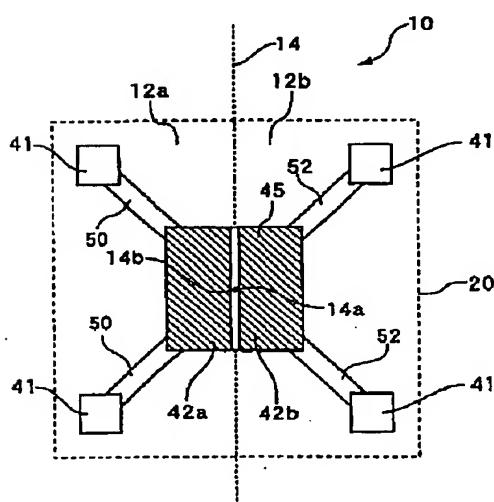
【図 1 6】



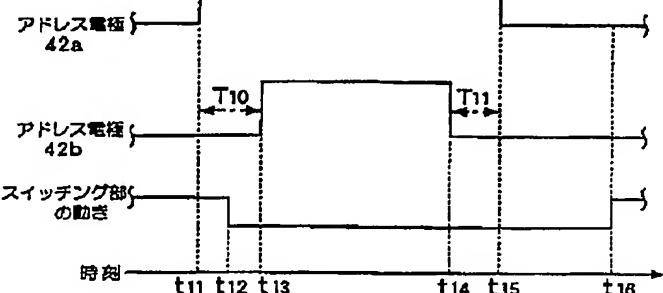
【図 1 7】



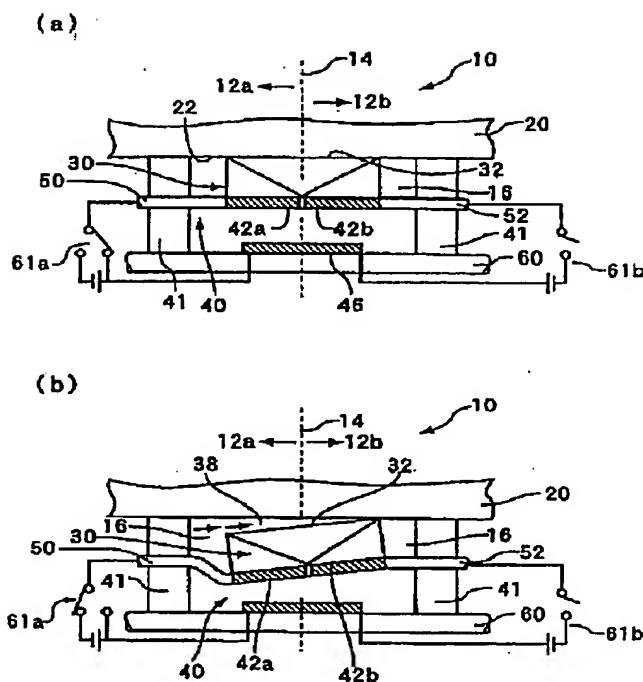
【図 1 8】



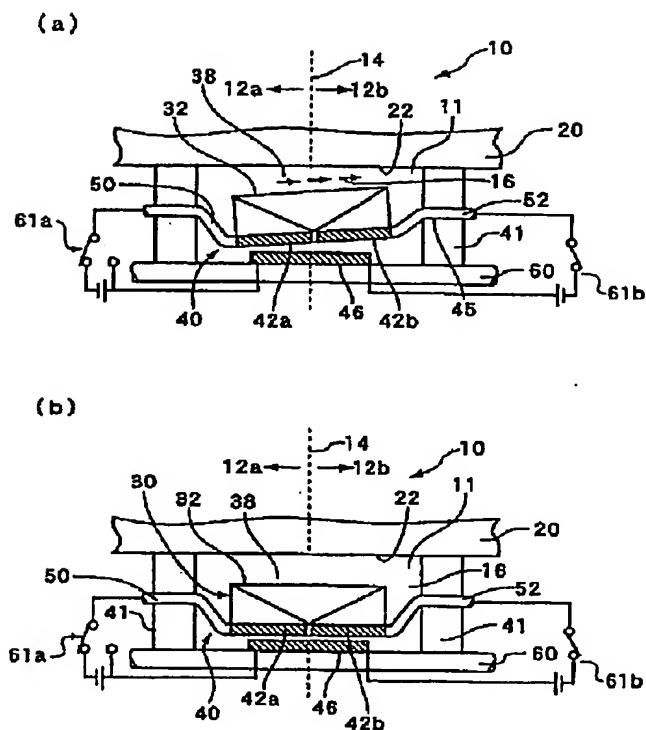
【図 2 1】



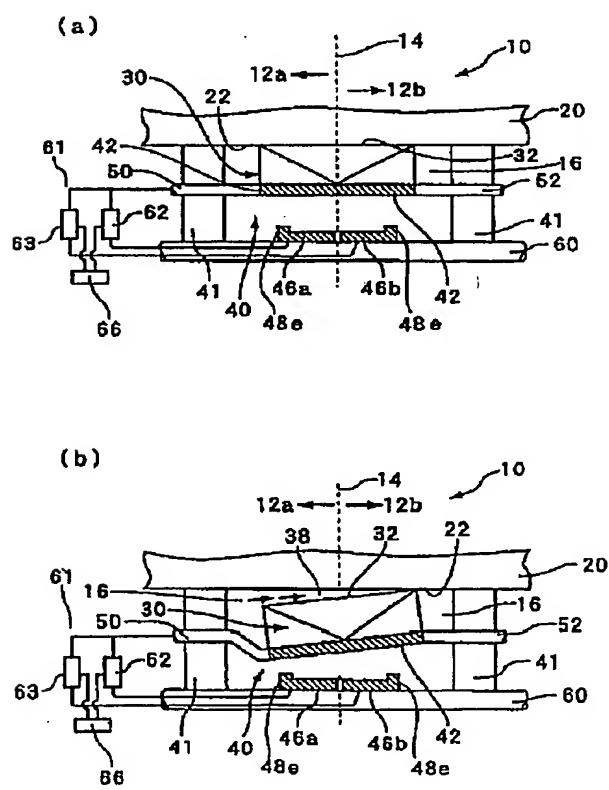
[図 19]



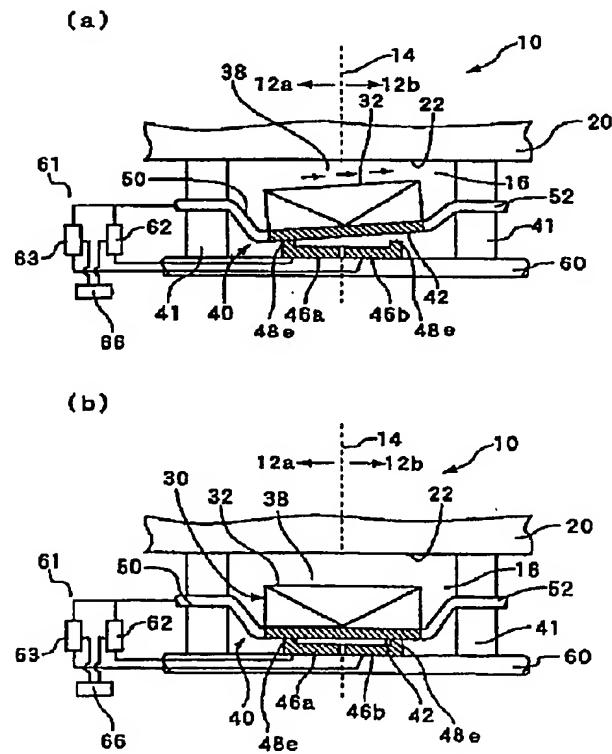
[図 20]



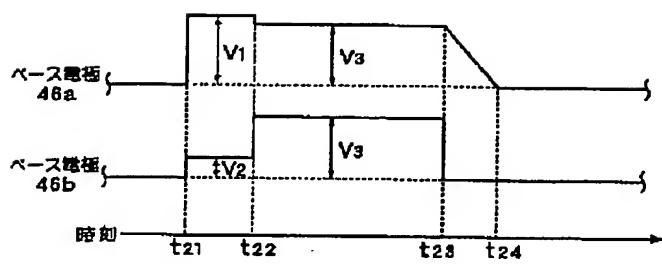
[図 22]



[図 23]



【図 2 4】



【図 2 5】

